干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.05.25

中国能源消费碳排放的时空差异及驱动因素研究①

张　馨
（陕西省社会科学院经济研究所，陕西　西安　710065）

摘　要： 随着气候变化日益加剧，碳排放及其影响越来越受到人们的关注。针对我国 30 个省区 2000—2015 年终端能源消费产生的碳排放进行核算，分析中国能源消费碳排放的区域特征和时空差异，并通过 STIRPAT 模型和面板数据模型相结合的方法从碳排放量和碳排放强度两个视角对碳排放的驱动因素进行分析。研究发现，从全国层面来看，人口规模、人均 GDP、能源强度以及城市化水平对碳排放量产生正向的驱动作用，即每提升 1%，碳排放量将分别增加 1.046 9%、0.938 6%、0.722 6%、0.411 6%，而产业结构对碳排放具有负向的驱动效应。对于碳排放强度而言，人均 GDP 和产业结构均产生负向的抑制作用。从区域层面来看，通过经济水平分组，东、中、西部三大区域由于经济发展水平的差异，各个因素对碳排放的影响也有所不同并表现出一定的规律性；城市化水平分组表现出随着城市化水平的提高，碳排放量也随之降低。通过研究，可为我国合理制定 CO_2 减排的区域差异化政策提供参考依据。

关　键　词： 碳排放；STIRPAT 模型；面板数据；驱动因素
中图分类号： X502　　**文献标识码：** A　　**文章编号：**

环境问题关乎人类的可持续发展，在全球气候变暖背景下，应对气候变化成为国际社会的共同关切。而能源消耗排放的大量温室气体则是引起全球变暖的重要原因[1]，已成为影响人类生存与发展的严重威胁。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告指出，2011 年化石燃料燃烧排放了 95×10^8 t 碳，大气中 CO_2 浓度达到 768 mg · m^{-3}，比工业化前的 1750 年高出 40%。2015 年 12 月巴黎气候变化大会达成的《巴黎协定》，成为历史上首个关于气候变化的全球性协定。根据协定，发展中国家应依据不同的国情继续强化减排努力，并逐渐实现减排或限排目标。

21 世纪以来，随着我国工业化和城市化进程的加快推进，能源消费总量的过快增长导致了 CO_2 排放量大幅攀升。根据国际能源署（IEA，2009）统计数据，2007 年中国超越美国成为全球最大的 CO_2 排放国。2010 年中国人均 CO_2 排放量超过 5 t，高于世界平均水平[2]。当前，我国正处于工业化和城市化的关键时期，高强度的能源消耗和产业转型的长期影响给节能减排目标的实现带来巨大压力。因此，为加快实现我国承诺的碳减排目标，应当引导各省区根据自身发展的实情承担相应的节能减排任务，这就需要科学评估我国在省域层面的碳排放量，阐明 CO_2 排放的区域差异特征及影响因素效应，从而为合理制定 CO_2 减排差异化政策提供参考依据。

1　文献回顾

当前，随着气候变化日益加剧，国内外学者对于碳排放的研究方兴未艾，与本文相关的研究主要集中于两个方面：一是从区域层面探讨碳排放的国家或地区间差异。PADILLA 和 SERRANO 分析了国家间收入差异对 CO_2 排放差异的影响[3]。HEIL M T 和 WODON Q T 探讨了贫穷国家和富裕国家的碳排放分配问题[4]。SATHER C 等运用变异系数、基尼系数、泰尔指数的测度方法研究了 1997—2007 年间中国东、中和西部地区 CO_2 排放的空间差异[5]。杨骞等基于中国 1995—2009 年省级面板数据从不同地域层面考察 CO_2 排放的区域差异[6]。二是碳排放的动态演变机制及影响因素分析。刘慧等对人类

---

① **收稿日期：** 2018-03-21；　**修订日期：** 2018-06-05
基金项目： 国家社科基金青年项目（15CJY034）
作者简介： 张馨（1984-），女，新疆石河子人，博士，助理研究员，研究方向为能源经济与区域可持续发展. E-mail：zhangxin.lzu@163.com

经济活动与碳排放的研究进行了总结梳理[7]，张雷从经济结构变化和一次能源消费增长的影响探讨了国家碳排放的基本演进规律[8]。由于城市化进程的快速推进对碳排放产生了深刻的影响，因而这方面的研究成为关注的热点。POUMANYVONG[9]、XU Bin[10]、孙昌龙[11]、胡建辉[12]等从城市化的不同阶段以及区域差异视角研究了城市化与碳排放的相互作用关系。当然，影响碳排放的驱动因素有很多，学者们运用不同的计量模型和方法进行研究。SALAHUDDIN 和 ALAM 通过方差分解分析研究互联网使用和经济增长对 OECD 国家 CO_2 排放的影响[13]。HAMILTON 等运用分解模型分析了 1982—1997 年 OECD 国家能源相关的温室气体排放增长的因素，研究表明一段时期内服务业发展导致的能源强度下降和化石燃料比例的下降是减缓排放量增长的重要因素[14]。邓吉祥等采用 LMDI 分解方法探讨中国碳排放区域差异变化的原因和规律[15]。赵志耘等采用 LMDI 分解法构建了碳排放驱动因素分解模型，分析 2000—2009 年各因素对我国碳排放量变化的影响，研究发现经济增长和城市化是碳排放的正向驱动力，而能源利用效率是负向驱动力[16]。齐绍洲等综合运用 Tapio 脱钩模型、面板协整检验、滞后期工具变量法研究我国中部六省经济增长方式对区域碳排放的影响[17]。

从已有文献来看，研究范围从跨国层面到国内地区都有涉及，研究方法不断多元化，在模型建立中所选取的影响因素变量也不尽一样。然而，对于我国省域层面的碳排放空间差异分析还不多见，并且很多研究在产生碳排放的能源种类选取上不够全面，最为普遍的是缺乏电力和热力碳排放的核算。尽管电力和热力在消费时不产生碳排放，但在生产过程中会产生碳排放。因此，本文从终端能源消费视角对我国 2000—2015 年 30 个省区进行碳排放核算，其中包括电力和热力消费产生的碳排放，以趋近于各省区真实的碳排放水平，由此进行碳排放的空间差异及影响因素的分析，从而为各省区科学合理地制定减排计划以及低碳发展的推进提供新的思路。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源及处理

根据资料的可获得性，本文在碳排放核算和空间计量分析过程中选取中国 30 个省区为研究对象（由于数据缺乏，未包括西藏自治区、台湾省、香港和澳门特别行政区）。在区域分组上，按照经济发展水平划分为东、中、西部三大区域，分别以 G1、G2、G3 表示。研究用到的各省区分类别的终端能源消费数据来自历年的《中国能源统计年鉴》，地区生产总值、人均地区生产总值、城市化率、人口等数据来自历年《中国统计年鉴》。为了使数据具有可比性、统一性，本文将 2000—2015 年的地区生产总值、人均地区生产总值换算为 2000 年不变价。

2.2 碳排放量核算

目前我国缺少对 CO_2 排放量的监测数据，已有研究一般通过能源消耗量来估算 CO_2 排放量。本文采用联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在《国家温室气体排放清单指南》提供的碳排放量估算方法[18]。表达式如下：

$$CE = \sum_{i=1}^{11} E_i \times NCV_i \times CEF_i \times \frac{12}{44} \qquad (1)$$

式中：CE 为终端能源消费的碳排放总量；E_i 为第 i 种能源消费实物量，依据能源平衡表中的能源分类，选取煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、天然气、电力、热力等 11 种能源；NCV_i 为第 i 种能源的平均低位发热量；CEF_i 为第 i 种能源的碳排放系数。

2.3 STIRPAT 模型与面板数据模型

IPAT 模型是最早用来分析人口和经济因素对环境影响的模型，该模型表达式为 $I = P \cdot A \cdot T$。DIETZ 和 ROSA 在此基础上，提出了 IPAT 扩展模型，即 STIRPAT 模型，表达式如下：

$$I_{it} = \alpha P_{it}^{\beta_1} A_{it}^{\beta_2} T_{it}^{\beta_3} e_{it} \qquad (2)$$

表 1 各类能源的平均低位发热量与 CO_2 排放系数

Tab. 1 Average low calorific value and CO_2 emission coefficient of various energy sources

	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	液化石油气	天然气	电力
NCV / kJ · kg^{-1}	20 908	28 435	41 816	43 070	43 070	42 625	41 816	50 179	38 931	3 596
CEF / kg · TJ^{-1}	94 600	107 000	73 300	70 000	71 900	74 100	77 400	63 100	56 100	962 921

注：数据来源于 IPCC

式中:I 表示环境影响;P 表示人口因素;A 表示财富程度;T 表示技术水平;α 为常数项;β_1、β_2 和 β_3 为待估参数;e 为随机误差项。在实证分析中,将(2)式转化为对数形式:

$$\ln I_{it} = \alpha + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 \ln T_{it} + e_{it} \quad (3)$$

为研究影响碳排放的驱动因素,本文应用 STIRPAT 模型,并在模型中引入城市化和产业结构变量,用人口数量表征 P,人均 GDP 表征 A,能源强度表征 T,由此建立计量模型如下:

$$\ln C_{it} = \alpha\beta_1 \ln pop_{it} + \beta_2 \ln gdp_{it} + \beta_3 \ln ei_{it} + \beta_4 \ln urb_{it} + \beta_5 \ln ind_{it} + e_{it} \quad (4)$$

式中:C 代表碳排放量或碳排放强度;pop 为人口规模;gdp 为人均 GDP,ei 为能源强度;urb 为城市化水平;ind 为第三产业比重。

对于该模型参数的确定,采用面板数据模型。一般的线性面板数据模型可以表示为:

$$Y_{it} = \mathrm{C} + \alpha_{it} + X_{it}\beta_{it} + \varepsilon_{it}\,(i = 1, 2, \cdots, N;\ t = 1, 2, \cdots, T) \quad (5)$$

式中:Y_{it}为被解释变量,即公式(4)中的 $\ln C_{it}$;X_{it}为解释变量,即公式(4)中的 $\ln pop_{it}$、$\ln gdp_{it}$、$\ln ei_{it}$、$\ln urb_{it}$和 $\ln ind_{it}$;i 表示横截面数据;t 表示时间序列数据;C 为常数;α_{it}是随机变量,度量个体间或时间上的差异;β_{it}为回归系数向量;ε_{it}为误差项。通过 F 统计量来确定选用混合模型还是固定效应模型,然后用 Hausman 统计量来确定应该建立随机效应模型还是固定效应模型。

在进一步研究中,对城市化水平进行高、中、低分组,将其设为虚拟解释变量(低水平组为基准组),则可构建回归模型:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 D_{2i} + \beta_3 D_{3i} + \mu_i \quad (6)$$

$$D_{2i} = \begin{cases} 1 & \text{若样本 } i \text{ 处于高水平组} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

$$D_{3i} = \begin{cases} 1 & \text{若样本 } i \text{ 处于中等水平组} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

3　中国省域碳排放的时空演变特征

3.1　碳排放和人均碳排放的区域特征

2000—2015 年,中国能源消费碳排放从 17.71×10^8 t 增长到 66.8×10^8 t,增长了 2.77 倍。从省域层面来看,各省区碳排放对全国的贡献水平基本保持固定格局,说明随着时间的推移,碳排放的影响因素效应较为稳定。分区域来看,对中国碳排放贡献较大的省区主要有河北、江苏、山东、广东,其占全国碳排放总量的比重在 0.06 以上(图 1)。由于人口、经济发展等因素对碳排放的影响,人均碳排放更能反应地区的真实水平。人均碳排放量最高的是宁夏、青海、内蒙古,超过 10 t · 人$^{-1}$,最低的是江西和湖南,低于 3 t · 人$^{-1}$。从三大经济区域的人均碳排放变动趋势来看,2000—2015 年,人均碳排放量整体呈上升趋势。东部地区人均碳排放量一直保持最高,其次是西部地区,中部地区为最低(图 2)。2011 年开始,东部和中部地区的人均碳排放量都表现出收敛态势,说明产业结构调整和能源结构优化对碳排放的控制作用初显成效。然而,西部地区的人均碳排放量自 2010 年开始出现了跃迁式的增长,这是由西部地区所处工业化和城市化阶段所导致的。

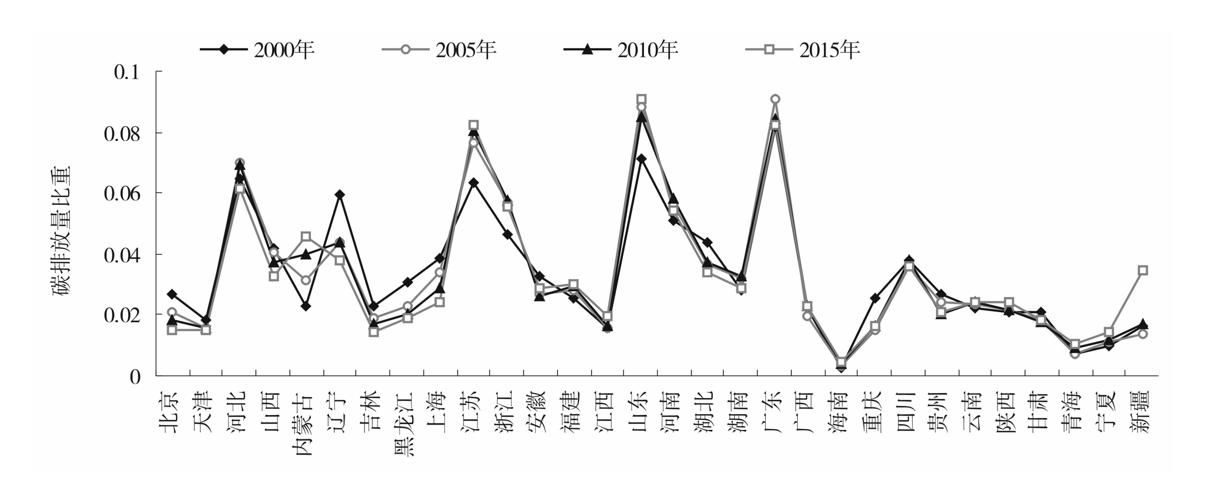


图 1　2000—2015 年中国 30 个省区碳排放量占全国的比重

Fig. 1　Proportion of carbon emissions of 30 provinces in China from 2000 to 2015

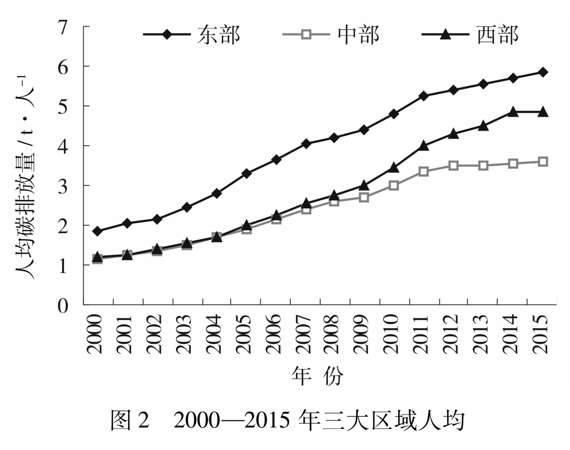


图 2　2000—2015 年三大区域人均碳排放量的变动趋势

Fig. 2　Trend of per capita carbon emissions in three regions of China from 2000 to 2015

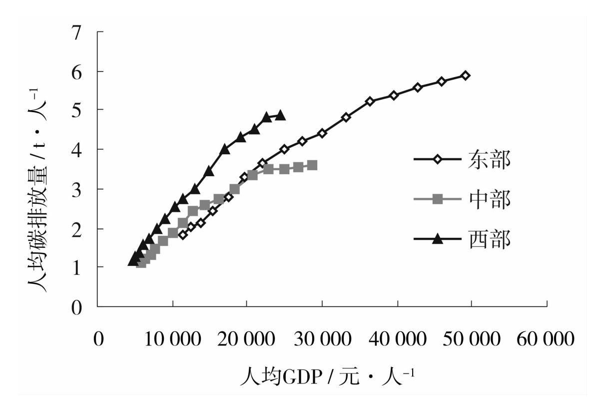


图 4　2000—2015 年三大区域人均碳排放与人均 GDP 的变动趋势

Fig. 4　Trend of per capita carbon emissions and per capita GDP of three regions from 2000 to 2015

3.2　人均碳排放与人均 GDP 的地区差异

环境库兹涅茨曲线假说认为国家经济发展水平与环境污染存在倒 U 型曲线。从中国 30 个省份 2000—2015 年人均碳排放与人均 GDP 的样本点数据散点图(图 3)可以看出,虽然整体轨迹还处于倒 U 型曲线的左侧,但大部分样本点偏向人均 GDP 高而人均碳排放量小的区域,呈现出低矮型的抛物线轨迹。说明我国经济快速增长的同时,碳排放增长也得到了有效控制。

在三大区域水平上,人均碳排放与人均 GDP 相互关系的变动趋势呈现出明显的分异特征(图 4)。东部地区的经济发展较快,随着人均 GDP 的快速增长,人均碳排放量由三大区域中的最低水平上升到最高水平。中部和西部地区在相似的人均 GDP 区间内,人均碳排放量的变动轨迹分异明显。同样的人均 GDP 水平,西部地区的人均碳排放是最高的。

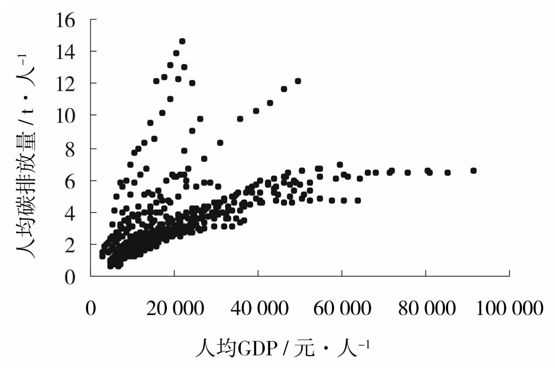


图 3　2000—2015 年人均碳排放量与人均 GDP 的散点图

Fig. 3　Scatter plots of per capita carbon emissions and per capita GDP from 2000 to 2015

表明西部地区相较其他地区而言,还属于粗放型的增长模式,技术水平较为落后,不可避免地产生大量碳排放。

4　碳排放影响因素的实证分析

4.1　面板数据的单位根检验和协整检验

运用面板数据模型分析之前,需要对面板序列的平稳性进行检验,以避免伪回归。检查序列平稳性的标准方法是单位根检验,本文选择 Levin-Lin-Chu(LLC)检验和 Fisher-ADF 检验两种方法。检验结果表明,所有变量经过一阶差分后在 1% 显著水平下都拒绝原假设,为一阶单整 I(1),因此可做进一步分析。

为了判定一组非平稳序列的线性组合是否存在长期协整关系,本文采用面板数据 Kao 协整检验方法对各类面板模型进行协整检验,结果见表 2。可以看到,所有检验的统计值在 1% 的水平上显著,说明各类面板模型的变量之间存在长期的均衡关系。

4.2　全国层面的碳排放影响因素分析

从全国层面视角,分别以碳排放总量和碳排放强度为被解释变量,运用公式(4)进行面板数据回归分析,估计结果见表 3。

4.2.1　碳排放量影响分析　从碳排放总量的影响因素来看,人口规模、人均 GDP、能源强度以及城市化水平对碳排放产生正向的驱动效应。人口规模的影响效应最强,每扩大 1%,碳排放量将会增加 1.046 9%。人口增长带来的不仅是直接能源消费的增加,也有在经济活动中产生的间接能源消费的增加,从而促进碳排放。以往研究也表明人口增长

表 2　各类面板模型的协整检验结果

Tab. 2　Cointegration test results of various panel models

	全国	全国	东部	中部	西部
被解释变量	ln*C*	ln*CI*	ln*C*	ln*C*	ln*C*
t 统计量	8.645 3***	-4.770 8***	8.862 6***	-5.900 5***	4.126 2***

注:***表示在1%水平下显著

表 3　全国样本的面板模型估计结果

Tab. 3　Panel model estimation results of national sample

解释变量回归系数	ln*C*	ln*CI*
α	-10.205 0***	-1.910 9***
	(-14.533 9)	(-2.725 6)
ln*pop*	1.046 9***	0.196 2**
	(12.247 5)	(2.298 7)
ln*gdp*	0.938 6***	-0.057 7**
	(33.672 8)	(-2.073 9)
ln*ei*	0.722 6***	0.729 3***
	(18.820 4)	(19.025 5)
ln*urb*	0.411 6***	0.349 8***
	(5.212 6)	(4.436 7)
ln*ind*	-0.010 8	-0.030 4
	(-0.184 8)	(-0.522 0)
F 值	1361.952 0	485.747 5
调整后 R^2	0.990 4	0.973 5
样本数	450	450

注:***表示在1%水平下显著,**表示在5%水平下显著,*表示在10%水平下显著,括号里为 *t* 值

会对环境造成负面影响的观点[19-21]。其次是人均 GDP 效应,每增长 1%,碳排放量增加0.938 6%。说明我国正处于工业化时期,经济的发展仍然是以能源的大量消耗为基础,由此造成了 CO_2 排放增长,成为当前驱动碳排放增长的主要因素。能源强度效应表现出单位 GDP 能耗每增加 1%,碳排放将会增长 0.722 6%。这一因素对碳排放是最直接的影响,然而随着我国能源强度逐年下降,将会促使碳排放的增速放缓。城市化水平的弹性系数显示当前城市化提升对于碳排放具有正向促进作用,城市化水平每提高 1%,碳排放量将增长 0.411 6%。城市化进程的推进,一方面促使大规模的人口由农村转移到城市,能源消费特征发生明显变化,一个农村居民转变为城市居民将带来能源消费量的增加[22];另一方面促进了城市容量不断扩充,各种公共服务设施的建设、运行和维护都需要更多的能源消耗。而当城市化发展到一定水平后,基础设施建设的速度逐渐放缓甚至趋于饱和,以及生产和生活的集聚效应,降低了对能源资源的消耗,从而将促使碳排放下降。产业结构对碳排放具有负向的驱动效应,但效应不显著,说明产业结构的演进对碳排放有抑制作用,但当前这种作用还没有产生明显的影响。

4.2.2　碳排放强度影响分析　从碳排放强度的影响因素来看,人口规模、能源强度和城市化水平的影响都是正向的,人均 GDP 和产业结构对碳排放强度产生负向的抑制作用,但产业结构的影响不显著。也就是说,与碳排放的影响效应相比,这些影响因素中只有人均 GDP 的弹性系数符号有所变化。当经济发展到一定程度,随着技术水平的提升和产业结构的升级,将有效控制污染和改善环境质量,这也从侧面印证了环境库兹涅茨假说。同时也说明近年来 GDP 的增长速度超过 CO_2 排放量的增长速度,因此人均 GDP 的快速增长将会促使碳排放强度下降。产业结构的弹性系数反映出随着第三产业和高科技产业等低碳产业的占比增加,将会减缓碳排放的增速,然而我国正处于经济新常态,经济增速放缓,并且长期处于工业化时期的阶段特征使产业结构的影响并不显著。

4.3　区域层面的碳排放影响因素分析

4.3.1　经济角度　从经济发展水平的角度,将我国各省区按照东、中、西部三大经济区域分组进行面板模型估计,结果如表 4。

人口弹性系数在 G1、G2、G3 三组模型中均显著为正并依次递减,说明高收入地区的人口增长对碳排放的影响要高于低收入地区。在经济较发达地区,由于收入水平的提升,人口的增长将会带来更多的直接能源消费,以及各项消费支出增加带来的间接能源消费增加,因而对碳排放产生的影响也较大。

人均 GDP 的弹性系数在三组模型中均显著为正,并且随着经济水平的提高,人均 GDP 对碳排放的影响表现出先增大后减小的特点,即 G2 的影响要大于 G1 和 G3。这是由于西部地区经济总量较小,经济增速相对缓慢,对碳排放的影响也较小。中部地区的经济发展水平有所提高,但主要是以高碳产业的发展为动力,能源资源的大量消耗引起碳排

放量的快速上升。而在东部地区,尽管经济发展迅猛,但由于技术进步以及经济结构的优化使得能源消费结构相对低碳化,最终导致碳排放增速的减缓甚至下降的局面出现。

能源强度的弹性系数在三组模型中均显著为正并且 G1、G2、G3 的系数依次递增,说明经济发展越好的地区,能效水平提升也快,并且淘汰大批落后产能,单位 GDP 能耗下降幅度也越大,因而对碳排放的影响就越小。中部尤其是西部地区依托丰富的化石能源资源,高耗能企业分布较多,导致单位 GDP 能耗相对东部地区较高,对碳排放的影响也较大。

城市化水平的弹性系数在三个模型中均为正,但只有 G2 统计上显著,说明东部和西部地区的城市化水平对碳排放的影响并不明显。西部地区的城市化水平较低,进程较为缓慢,人口转移带来的能源消费增长产生的碳排放比较有限。中部地区进入城市化加速阶段,城市的发展吸引大量农村人口涌入,居民的消费水平不断提高,同时工业的重型化特征明显,造成了对能源需求的大幅增加,从而导致对碳排放的影响增大。东部地区除了河北、山东和海南,其他省区的城市化水平都达到 60% 以上,产业集聚为碳排放的集中控制提供了方便,并且相对低碳的第三产业占比增大,由此缓解了碳排放的压力。随着城市化进程推进到一定水平,城市化对碳排放的抑制作用开始有所显现。

表 4 三大经济区域的面板模型估计结果

Tab. 4 Panel model estimation results in three economic regions

	G1 系数	G2 系数	G3 系数
α	−7.169 2***	−9.587 0***	−3.503 4***
	(−24.111 8)	(−2.749 7)	(−4.105 5)
ln*pop*	1.042 5***	0.800 4***	0.795 2***
	(79.794 0)	(3.242 3)	(33.500 9)
ln*gdp*	0.918 0***	1.037 5***	0.615 4***
	(15.803 8)	(6.439 1)	(8.531 8)
ln*ei*	0.562 0***	0.628 8***	0.789 3***
	(18.641 1)	(10.427 8)	(18.831 1)
ln*urb*	0.039 0	0.618 6***	0.002 5
	(0.353 9)	(9.394 5)	(0.019 8)
ln*ind*	−0.383 3***	−0.079 4	−0.044 2
	(−5.670 9)	(−0.998 2)	(−0.303 7)
F 值	882.409 9	980.749 5	215.232 3
调整后 R^2	0.990 3	0.995 4	0.961 3
样本数	165	120	165

注:***表示在 1% 水平下显著,**表示在 5% 水平下显著,*表示在 10% 水平下显著,括号里为 *t* 值

产业结构的弹性系数在三个模型中均为负,并且 G1、G2、G3 的负向驱动效应依次递减,但只有 G1 的系数具有显著性。也就是说,在经济较发达的东部地区,产业结构转型升级过程中,现代服务业占比的大幅提升将有助于促进碳排放的减少。而在中部和西部地区,产业结构效应还没有表现出明显的作用。

4.3.2 社会角度 从社会发展水平的角度,将我国各省区按照城市化水平分为高、中、低三组,进而分析城市化水平对碳排放影响的差异。根据各省区城市化水平的实际情况及样本数的平衡进行划分,城市化率达 60% 以上为高水平组,有 8 个省区;50% ~60% 为中等水平组,有 11 个省区;50% 以下为低水平组,有 11 个省区。根据模型(6)可得回归结果为:

$$y_i = 7\ 968.16 + 0.37x_i - 3\ 221.76D_{2i} - 2\ 649.84D_{3i}$$
$$(8.95)^{***}\quad (9.09)^{***}\quad (-2.14)^{**}\quad (-2.46)^{**}$$

由此可以看出,低城市化水平组的平均碳排放量为 $7\ 968.16\times10^4$ t,高水平组和中等水平组的平均碳排放量分别比低水平组要减少 $3\ 221.76\times10^4$ t 和 $2\ 649.84\times10^4$ t,分别为 $4\ 746.4\times10^4$ t 和 $5\ 318.32\times10^4$ t,低水平组到高水平组的平均碳排放量依次递减。也就是说,随着城市化水平的提高,碳排放量也随之降低。

5 结 论

通过实证分析可知,我国人均碳排放表现出明显的分异特征,东部地区最高而中部地区最低,并且在近几年表现出收敛态势。西部地区人均碳排放量的变动轨迹在 2000—2005 年基本与中部地区重合,而 2010 年之后产生跃迁式增长。人均碳排放与人均 GDP 相互关系表现出明显的区域差异,东部地区随经济的快速增长,人均碳排放量由三大区域中的最低水平上升到最高水平,在相同经济水平下西部地区的人均碳排放是最高的。

由碳排放的影响因素分析可知,从全国层面来看,人口规模、人均 GDP、能源强度以及城市化水平对碳排放产生正向的驱动作用,并且影响效应依次递减。产业结构对碳排放具有负向的驱动效应,但效应不显著。以碳排放强度为被解释变量进行分析,人口规模、能源强度和城市化水平的影响都是正

向的,人均 GDP 和产业结构对碳排放强度产生负向的抑制作用,但产业结构的影响也不显著。也就是说,随着产业结构的演进,低碳产业占比增加,将减缓碳排放的增速,但当前这种抑制作用还没有产生明显的影响。

从区域层面来看,在不同经济水平的区域上,各个因素对碳排放影响表现出的差异又有一定的内在规律。在 G1、G2、G3 三组模型中,人口弹性系数均显著为正并依次递减,能源强度的弹性系数均显著为正并依次递增,人均 GDP 弹性系数表现出随着经济水平的提高先增大后减小的特点。城市化水平和产业结构的弹性系数都有模型显示出不显著,但总体趋势表现出城市化发展到一定水平,对碳排放的抑制作用开始有所显现,产业结构的转型升级也将有助于促进碳排放的减少。单从城市化水平的影响来看,城市化水平越高的组别,平均碳排放量越低。

当前,我国经济社会发展正处于重要的战略转型期,碳减排任务目标的实现仍然十分艰巨,这就需要从多个方面同时进行。调整产业结构是最为重要的,通过改造和提升传统产业,促进能化产业转型升级,加快培育低碳产业、绿色产业,构建以绿色低碳排放为特征的现代化产业体系。积极研发低碳技术,降低碳排放强度,提升可再生能源发电量比重,在供应结构中逐步替代化石能源。进一步加大对系统集成、装备、关键零部件等技术攻关的支持,推动自主知识产权的光热发电技术向商业化过渡。尽管随着城市化的推进会带来大量人口流入城市,在一定时期内会导致碳排放量的增加,然而,应用物联网、云计算等新一代信息技术强化城市综合管理,提升能源利用效率,推进低碳城镇化,打造低碳韧性城市,会对碳排放起到抑制作用。同时,我国碳排放存在明显的区域差异,东部地区作为经济发展的先行区应承担更多的配碳减排任务。基于这些举措,能够协同应对气候变化挑战,推动绿色发展,建设美丽中国。

参考文献(References)

[1] HUANG B N, HWANG M J, YANG C W. Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach[J]. Ecological Economics, 2008, 67(1):41-54.

[2] 孟明,牛东晓. 中国能源消费低碳化发展模型与政策[M],北京:科学出版社,2014. [MENG Ming, NIU Dongxiao. Low-carbon oriented development models and policies for China's energy consumption[M]. Beijing: Science Press, 2014]

[3] PADILLA E, SERRANO A. Inequality in CO_2 emissions across countries and its relationship with income inequality: A distributive approach[J]. Energy Policy, 2006, 34(14):1762-1772.

[4] HEIL M T, WODON Q T. Inequality in CO_2 emissions between poor and rich countries[J]. Journal of Environment & Development, 1997, 6(4):426-452.

[5] SATHER C, QU J S, WANG Q, et al. Carbon inequality at the sub-national scale: A case study of provincial-level inequality in CO_2 emissions in China 1997—2007[J]. Energy Policy, 2011, 39(9):5420-5428.

[6] 杨骞,刘华军. 中国二氧化碳排放的区域差异分解及影响因素——基于 1995—2009 年省际面板数据的研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2012, 5:36-49. [YANG Qian, LIU Huajun. Regional difference decomposition and influence factors of China's carbon dioxide emissions[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2012, 5:36-49.]

[7] 刘慧,成升魁,张雷. 人类经济活动影响碳排放的国际研究动态[J]. 地理科学进展, 2002, 21(5):420-429. [LIU Hui, CHENG Shengkui, ZHANG Lei. The international latest research of the impacts of human activities on carbon emissions[J]. Progress in Geography, 2002, 21(5):420-429.]

[8] 张雷. 经济发展对碳排放的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(4):629-637. [ZHANG Lei. Economic development and its bearing on CO_2 emissions[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4):629-637.]

[9] POUMANYVONG P, KANEKO S. Does urbanization lead to less energy use and lower CO_2 emissions? A cross-country analysis[J]. Ecological Economics, 2010, 70(2):434-444.

[10] XU B, LIN B Q. How industrialization and urbanization process impacts on CO_2 emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models[J]. Energy Economics, 2015, 48(3):188-202.

[11] 孙昌龙,靳诺,张小雷,等. 城市化不同演化阶段对碳排放的影响差异[J]. 地理科学, 2013, 33(3):266-272. [SUN Changlong, JIN Nuo, ZHANG Xiaolei, et al. The impact of urbanization on the CO_2 emission in the various development stages[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(3):266-272.]

[12] 胡建辉,蒋选. 城市群视角下城镇化对碳排放的影响效应研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2015, 15(6):11-21. [HU Jianhui, JIANG Xuan. The impact of urbanization on carbon emissions from the perspective of urban agglomeration[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition), 2015, 15(6):11-21.]

[13] SALAHUDDIN M, ALAM K, OZTURK I. The effects of Internet usage and economic growth on CO_2 emissions in OECD countries: A panel investigation[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 62(9):1226-1235.

[14] HAMILTON C, TURTON H. Determinants of emissions growth in OECD countries[J]. Energy Policy, 2002, 30(1):63-71.

[15] 邓吉祥,刘晓,王铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析

与因素分解[J]. 自然资源学报,2014,29(2):189 - 200. [DENG Jixiang,LIU Xiao,WANG Zheng. Characteristics analysis and factor decomposition based on the regional difference changes in China's CO_2 emission[J]. Journal of Natural Resources,2014,29(2):189 - 200.]
[16] 赵志耘,杨朝峰. 中国碳排放驱动因素分解分析[J]. 中国软科学,2012,(6):175 - 183. [ZHAO Zhiyun,YANG Chaofeng. The decomposition analysis on the driving factors of China's carbon emission[J]. China Soft Science,2012,(6):175 - 183.]
[17] 齐绍洲,林屾,王班班. 中部六省经济增长方式对区域碳排放的影响——基于Tapio脱钩模型、面板数据的滞后期工具变量法的研究[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(5):59 - 66. [QI Shaozhou,LIN Shen,WANG Banban. Impact of economic growth pattern of the six provinces of central China on regional carbon emission:Based on the Tapio model and lag instrumental variable analysis of panel data[J]. China Population,Resources and Environment,2015,25(5):59 - 66.]
[18] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Japan:IGES,2006.
[19] MALTHUS T R. Essay on the principle of population[M]. London:Dent,1967.
[20] FAN Y,LIU L C,WU G,et al. Changes in carbon intensity in China:Empirical findings from 1980—2003[J]. Ecological Economic,2007,62:683 - 691.
[21] ZARZOSO I M,MORANCHO A B,LAGE R M. The impact of population on CO_2 emissions:Evidence from European countries[J]. Environmental and Resource Economics,2007,38:497 - 512.
[22] 张馨,牛叔文,赵春升,等. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究[J]. 中国软科学,2011,(9):65 - 75. [ZHANG Xin,NIU Shuwen,ZHAO Chunsheng,et al. The study on household energy consumption and carbon emissions in China's urbanization[J]. China Soft Science,2011,(9):65 - 75.]

Spatial-temporal differences and driving factors of carbon emission from energy consumption in China

ZHANG Xin
(*Institute of Economics*,*Shaanxi Academy of Social Sciences*,*Xi'an* 710065,*Shaanxi*,*China*)

Abstract: With the accelerating climate change,the carbon emission and its influence are paid more and more attention. This paper calculated the carbon emissions from energy consumption covered 30 provinces from 2000 to 2015,and analyzed the regional characteristics and spatial-temporal differences of carbon emissions in China. Based on the STIRPAT model and panel data model,the driving factors of carbon emissions were analyzed from two perspectives of carbon emissions and carbon intensity. The study found that,at the national level,the population scale,per capita GDP,energy intensity and urbanization level have positive driving effect,and 1% increase in each factor,the carbon emissions will be increased by 1.046 9%,0.938 6%,0.722 6%,0.411 6%,respectively. However the industrial structure has negative effect on carbon emissions. For carbon intensity,per capita GDP and industrial structure have negative inhibitory effect. At the regional level,three economic regions of the East,Middle and West regions of China were defined by grouping the individual areas based on their economic level. Due to the difference of economic development level,the effects of each factor on carbon emissions were also different and show a certain regularity. The grouping by urbanization level showed that carbon emissions have been decreased along with the increase of urbanization level. This study provided a reference for the government to make a reasonable and differentiated policy about CO_2 emission reduction based on the region.

Key words: carbon emission; STIRPAT model; panel data; driving factors